

19.11.2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 3 年 1 1 月 2 0 日

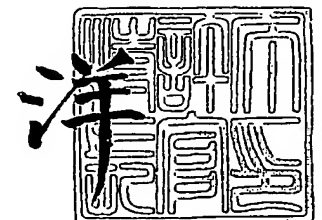
出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 3 9 1 2 4 2  
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 9 1 2 4 2]

出 願 人  
Applicant(s): 独立行政法人物質・材料研究機構

2 0 0 5 年 2 月 3 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 03-MS-195  
【提出日】 平成15年11月20日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G02F 1/37  
【発明者】  
    【住所又は居所】 茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立行政法人物質・材料研  
                                究機構内  
    【氏名】 北村 健二  
【発明者】  
    【住所又は居所】 茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立行政法人物質・材料研  
                                究機構内  
    【氏名】 栗村 直  
【発明者】  
    【住所又は居所】 茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立行政法人物質・材料研  
                                究機構内  
    【氏名】 中村 優  
【発明者】  
    【住所又は居所】 茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立行政法人物質・材料研  
                                究機構内  
    【氏名】 竹川 俊二  
【特許出願人】  
    【識別番号】 301023238  
    【氏名又は名称】 独立行政法人物質・材料研究機構  
    【代表者】 岸 輝雄  
【代理人】  
    【識別番号】 100116089  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 森竹 義昭  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

ホルダーと、  
前記ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶と  
を含む波長変換素子であって、  
前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、少なくとも 5 つの面を有しており、  
前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は、実質的に 1 であり、

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの分極方向に対して垂直な方向に、所定の周期を有する分極反転構造を有しており、

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、前記分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されている、波長変換素子。

**【請求項 2】**

前記所定の周期は、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれが、第 1 の波長  $\lambda_1$  を有する第 1 の光を、第 2 の波長  $\lambda_2$  を有する第 2 の光と第 3 の波長  $\lambda_3$  を有する第 3 の光とに変換する場合、前記第 1 の波長  $\lambda_1$  と前記第 2 の波長  $\lambda_2$  と前記第 3 の波長  $\lambda_3$  とが、関係  $1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$ 、関係  $\lambda_1 < \lambda_2$  および  $\lambda_1 < \lambda_3$  を満たすように、擬似位相整合する周期である、請求項 1 に記載の波長変換素子。

**【請求項 3】**

前記所定の周期は、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれが、第 1 の波長  $\lambda_1$  を有する第 1 の光を第 2 の波長  $\lambda_2$  を有する第 2 の光に変換する場合、前記第 1 の波長  $\lambda_1$  と前記第 2 の波長  $\lambda_2$  とが、関係  $\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$  を満たすように、擬似位相整合する周期である、請求項 1 に記載の波長変換素子。

**【請求項 4】**

前記所定の周期は、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれが、第 1 の波長  $\lambda_1$  を有する第 1 の光と第 2 の波長  $\lambda_2$  を有する第 2 の光とを、第 3 の波長  $\lambda_3$  を有する第 3 の光に変換する場合、前記第 1 の波長  $\lambda_1$  と前記第 2 の波長  $\lambda_2$  と前記第 3 の波長  $\lambda_3$  とが、関係  $1/\lambda_1 \pm 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$  を満たすように、擬似位相整合する周期である、請求項 1 に記載の波長変換素子。

**【請求項 5】**

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは 6 つの面を有する、請求項 1 に記載の波長変換素子。

**【請求項 6】**

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、不純物をドーブした実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、不純物をドーブした実質的に定比組成のタンタル酸リチウムからなる群から選択される、請求項 1 に記載の波長変換素子。

**【請求項 7】**

前記ホルダーは熱伝導性材料から形成される、請求項 1 に記載の波長変換素子。

**【請求項 8】**

前記ホルダーに設置された温度制御素子と、  
前記ホルダーと前記温度制御素子とを包囲する断熱性フレームと  
をさらに含む、請求項 1 に記載の波長変換素子。

**【請求項 9】**

前記温度制御素子を制御する制御部をさらに含む、請求項 8 に記載の波長変換素子。

**【請求項 10】**

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は所定の間隔で配置されており、前記所定の間隔に熱伝導性材料が充填されている、請求項 1 に記載の波長変換素子。

**【請求項 11】**

第 1 の波長  $\lambda_1$  を有する第 1 の光を発する光源と、

前記第1の光を、第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光と第3の波長 $\lambda_3$ を有する第3の光とに変換する波長変換素子と、

前記波長変換素子の位置を制御する制御部と

を含む光発生装置であって、前記波長変換素子は、ホルダーと、前記ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含み、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は少なくとも5つの面を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は実質的に1であり、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第1の波長 $\lambda_1$ と第2の波長 $\lambda_2$ と第3の波長 $\lambda_3$ とが、関係 $1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$ 、関係 $\lambda_1 < \lambda_2$ および $\lambda_1 < \lambda_3$ を満たすように、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、前記分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されている、光発生装置。

【請求項12】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは6つの面を有する、請求項11に記載の光発生装置。

【請求項13】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、不純物をドーブした実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、不純物をドーブした実質的に定比組成のタンタル酸リチウムからなる群から選択される、請求項11に記載の光発生装置。

【請求項14】

前記ホルダーは熱伝導性材料から形成される、請求項11に記載の光発生装置。

【請求項15】

前記波長変換素子は、

前記ホルダーに設置された温度制御素子と、

前記ホルダーと前記温度制御素子とを包囲する断熱性フレームと

をさらに含む、請求項11に記載の光発生装置。

【請求項16】

前記制御部は、さらに、前記温度制御素子の温度を制御する、請求項15に記載の光発生装置。

【請求項17】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は所定の間隔で配置されており、前記所定の間隔に熱伝導性材料が充填されている、請求項11に記載の光発生装置。

【請求項18】

第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光を発する光源と、

前記第1の光を第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光に変換する波長変換素子と、

前記波長変換素子の位置を制御する制御部と

を含む光発生装置であって、前記波長変換素子は、ホルダーと、前記ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含み、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は少なくとも5つの面を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は実質的に1であり、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第1の波長 $\lambda_1$ と第2の波長 $\lambda_2$ とが関係 $\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$ を満たすように、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、前記分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されている、光発生装置。

【請求項19】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは6つの面を有する、請求項18に記載の光発生装置。

【請求項20】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム

、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、不純物をドーブした実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、不純物をドーブした実質的に定比組成のタンタル酸リチウムからなる群から選択される、請求項 18 に記載の光発生装置。

【請求項 21】

前記ホルダーは熱伝導性材料から形成される、請求項 18 に記載の光発生装置。

【請求項 22】

前記波長変換素子は、

前記ホルダーに設置された温度制御素子と、

前記ホルダーと前記温度制御素子とを包囲する断熱性フレームと

をさらに含む、請求項 18 に記載の光発生装置。

【請求項 23】

前記制御部は、さらに、前記温度制御素子の温度を制御する、請求項 22 に記載の光発生装置。

【請求項 24】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は所定の間隔で配置されており、前記所定の間隔に熱伝導性材料が充填されている、請求項 18 に記載の光発生装置。

【請求項 25】

第 1 の波長  $\lambda_1$  を有する第 1 の光を発する第 1 の光源と、

前記第 1 の光と、外部から入射した第 2 の波長  $\lambda_2$  を有する第 2 の光とを結合させる光学系と、

前記第 1 の光と第 2 の光とを、第 3 の波長  $\lambda_3$  を有する第 3 の光に変換する波長変換素子と、

前記波長変換素子の位置を制御する制御部と

を含む光発生装置であって、前記波長変換素子は、ホルダーと、前記ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含み、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は少なくとも 5 つの面を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は実質的に 1 であり、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第 1 の波長  $\lambda_1$  と第 2 の波長  $\lambda_2$  と第 3 の波長  $\lambda_3$  とが、関係  $1/\lambda_1 \pm 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$  を満たすように、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、前記分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されている、光発生装置。

【請求項 26】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは 6 つの面を有する、請求項 25 に記載の光発生装置。

【請求項 27】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、不純物をドーブした実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、不純物をドーブした実質的に定比組成のタンタル酸リチウムからなる群から選択される、請求項 25 に記載の光発生装置。

【請求項 28】

前記ホルダーは熱伝導性材料から形成される、請求項 25 に記載の光発生装置。

【請求項 29】

前記波長変換素子は、

前記ホルダーに設置された温度制御素子と、

前記ホルダーと前記温度制御素子とを包囲する断熱性フレームと

をさらに含む、請求項 25 に記載の光発生装置。

【請求項 30】

前記制御部は、さらに、前記温度制御素子の温度を制御する、請求項 29 に記載の光発生装置。

【請求項 3 1】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は所定の間隔で配置されており、前記所定の間隔に熱伝導性材料が充填されている、請求項 2 5 に記載の光発生装置。

## 【書類名】明細書

【発明の名称】マルチグレーティングを有する波長変換素子およびそれを用いた光発生装置

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、マルチグレーティングを有する波長変換素子およびそれを用いた光発生装置に関する。より詳細には、本発明は、偏光方位に対応し、かつ、損傷伝播のないマルチグレーティングを有する波長変換素子およびそれを用いた光発生装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、優れた非線形光学定数および電気光学定数を有する強誘電体単結晶を用いた波長変換素子の研究が盛んに行われている。なかでも、良質な強誘電体単結晶の製造技術および分極反転形成技術の向上により、擬似位相整合方式を採用した波長変換素子の発展は目覚ましい。

ニオブ酸リチウム単結晶を利用した波長の広い範囲にわたって調整可能な（以後では、単にチューナビリティと呼ぶ）波長変換素子が開発されている（例えば、非特許文献1を参照。）。

## 【0003】

図11は、従来技術によるマルチグレーティング型擬似位相整合（QPM）パラメトリック発振器（OPO）を示す図である。

QPM OPO 1100は、波長変換素子1101と、第1のミラー1102と、第2のミラー1103と、移動手段1104とを備える。

波長変換素子1101は、コングルエントニオブ酸リチウム（CLN）ウェハから作製されている。波長変換素子1101は、CLNウェハの分極方向に平行な方向の厚さが0.5mmであり、素子長Lは26mmである。波長変換素子1101は、周期の異なる分極反転構造（グレーティング）を複数有する。各グレーティングの幅 $W_G$ は $500\mu\text{m}$ である。各グレーティング間の間隔は、 $50\mu\text{m}$ である。各グレーティングの周期は、 $26\sim 36\mu\text{m}$ である。グレーティングの周期が $0.25\mu\text{m}$ ずつ増分するように配置されている。このようなグレーティングは、グレーティングごとに所定の周期を有するマスクを用いたリソグラフィ技術および電界印加法によって、繰り返し作製される。図において、マルチグレーティングのうち一部のみを示す。

## 【0004】

第1のミラー1102および第2のミラー1103はそれぞれ、曲率半径150mmを有する。第1のミラー1102と第2のミラー1103とは、波長変換素子1101を介して配置されており、その間隔は30mmである。

移動手段1104は、波長変換素子1101を平行に移動させる。

## 【0005】

次に、このようなQPM OPO 1100の動作を説明する。

QスイッチNd:YAGレーザ（図示せず）から発生したポンプレーザ光（第1の波長 $\lambda_1=1.064\mu\text{m}$ ）は、第1のミラー1102を介して所与のビーム径で波長変換素子1101の所定の周期を有するグレーティングに入射する。この際、所定のグレーティングにポンプレーザ光が入射するように、移動手段1104は、予め波長変換素子1101を移動させる。その後、第1の波長 $\lambda_1$ を有するポンプレーザ光は、波長変換素子1101の周期に応じて、第2の波長 $\lambda_2$ を有するシグナル光および第3の波長 $\lambda_3$ を有するアイドラ光に変換される。この際、波長 $1.54\mu\text{m}$ を中心とするシグナル光は、第1のミラー1102および第2のミラー1103で一部が反射する。第2のミラー1103で反射することなく透過したシグナル光およびアイドラ光がQPM OPO 1100から出射する。

## 【0006】

このようにして設計されたQPM OPO 1100によれば、ポンプレーザ光の第1の

波長 $\lambda_1$ が $1.064\mu\text{m}$ であり、マルチグレーティングの周期が $26\mu\text{m}\sim 32\mu\text{m}$ の場合、移動手段1104によって波長変換素子1101を移動させるだけで、シグナル光の第2の波長 $\lambda_2$ は、 $1.36\mu\text{m}\sim 1.98\mu\text{m}$ の波長可変範囲、アイドラ光の第3の波長 $\lambda_3$ は、 $4.83\mu\text{m}\sim 2.30\mu\text{m}$ の波長可変範囲を達成可能である。

【非特許文献1】L. E. Meyersら、「Multigrating quasi-phase-matched optical parametric oscillator in periodically poled LiNbO<sub>3</sub>」、OPTICS LETTERS、April 15, 1996、Vol. 21, No. 8, pp. 591-593

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、図11に示される波長変換素子1101は単一ウェハから作製されているため、ポンプレーザ光の照射によって1つのグレーティングに生じたクラック等の損傷は、容易に他のグレーティングに伝播してしまい、損傷に弱い（損傷伝播）という難点を有する。また、波長変換素子1101は、1つのグレーティングが損傷すると素子全体を交換しなければならないため、コストがかかるという問題を有する。

【0008】

波長変換素子1101は、マルチグレーティングを作製する際に、1つのグレーティングの作製に失敗する（分極反転部分が接合してしまう）と、ウェハ全体を破棄しなければならない。そのため歩留まりが悪い。

さらに、波長変換素子1101は、TM偏光を有する光のみを波長変換することができる。したがって、ポンプレーザ光の波長がTE偏光である場合には、TE偏光をTM偏光にする必要がある。このため、ポンプレーザ光の偏光に応じて、偏光子等の光学系が必要となるため、QPM OPO全体が大きくなるといった問題が生じる。

【0009】

したがって、本発明の目的は、損傷伝播のないマルチグレーティングを有する波長変換素子およびそれを用いた光発生装置を提供することである。

本発明の別の目的は、歩留まりを向上させた波長変換素子およびそれを用いた光発生装置を提供することである。

本発明のさらに別の目的は、入射光の偏光に対する自由度を向上させた波長変換素子およびそれを用いた光発生装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明による波長変換素子は、ホルダーと、前記ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含み、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、少なくとも5つの面を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は、実質的に1であり、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの分極方向に対して垂直な方向に、所定の周期を有する分極反転構造を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、前記分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されており、これにより上記目的を達成する。

【0011】

前記所定の周期は、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれが、第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光を、第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光と第3の波長 $\lambda_3$ を有する第3の光とに変換する場合、前記第1の波長 $\lambda_1$ と前記第2の波長 $\lambda_2$ と前記第3の波長 $\lambda_3$ とが、関係 $1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$ 、関係 $\lambda_1 < \lambda_2$ および $\lambda_1 < \lambda_3$ を満たすように、擬似位相整合する周期であってもよい。

【0012】

前記所定の周期は、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれが、第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光を第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光に変換する場合、前記第1の波長 $\lambda_1$ と



前記第2の波長 $\lambda_2$ とが、関係 $\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$ を満たすように、擬似位相整合する周期であってもよい。

【0013】

前記所定の周期は、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれが、第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光と第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光とを、第3の波長 $\lambda_3$ を有する第3の光に変換する場合、前記第1の波長 $\lambda_1$ と前記第2の波長 $\lambda_2$ と前記第3の波長 $\lambda_3$ とが、関係 $1/\lambda_1 \pm 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ を満たすように、擬似位相整合する周期であってもよい。

【0014】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは6つの面を有してもよい。

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、不純物をドーブした実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、不純物をドーブした実質的に定比組成のタンタル酸リチウムからなる群から選択されてもよい。

前記ホルダーは熱伝導性材料から形成されてもよい。

前記ホルダーに設置された温度制御素子と、前記ホルダーと前記温度制御素子とを包囲する断熱性フレームとをさらに含んでもよい。

前記温度制御素子を制御する制御部をさらに含んでもよい。

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は所定の間隔で配置されており、前記所定の間隔に熱伝導性材料が充填されてもよい。

【0015】

本発明による光発生装置は、第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光を発する光源と、前記第1の光を、第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光と第3の波長 $\lambda_3$ を有する第3の光とに変換する波長変換素子と、前記波長変換素子の位置を制御する制御部とを含み、前記波長変換素子は、ホルダーと、前記ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含み、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は少なくとも5つの面を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は実質的に1であり、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第1の波長 $\lambda_1$ と第2の波長 $\lambda_2$ と第3の波長 $\lambda_3$ とが、関係 $1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$ 、関係 $\lambda_1 < \lambda_2$ および $\lambda_1 < \lambda_3$ を満たすように、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、前記分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されており、これにより上記目的を達成する。

【0016】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは6つの面を有してもよい。

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、不純物をドーブした実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、不純物をドーブした実質的に定比組成のタンタル酸リチウムからなる群から選択されてもよい。

前記ホルダーは熱伝導性材料から形成されてもよい。

【0017】

前記波長変換素子は、前記ホルダーに設置された温度制御素子と、前記ホルダーと前記温度制御素子とを包囲する断熱性フレームとをさらに含んでもよい。

前記制御部は、さらに、前記温度制御素子の温度を制御してもよい。

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は所定の間隔で配置されており、前記所定の間隔に熱伝導性材料が充填されてもよい。

【0018】

本発明による光発生装置は、第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光を発する光源と、前記第1の光を第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光に変換する波長変換素子と、前記波長変換素子の位置を制御する制御部とを含み、前記波長変換素子は、ホルダーと、前記ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含み、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は少な

くとも5つの面を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は実質的に1であり、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第1の波長 $\lambda_1$ と第2の波長 $\lambda_2$ とが関係 $\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$ を満たすように、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、前記分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されており、これにより上記目的を達成する。

#### 【0019】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは6つの面を有してもよい。

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、不純物をドーブした実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、不純物をドーブした実質的に定比組成のタンタル酸リチウムからなる群から選択されてもよい。

#### 【0020】

前記ホルダーは熱伝導性材料から形成されてもよい。

前記波長変換素子は、前記ホルダーに設置された温度制御素子と、前記ホルダーと前記温度制御素子とを包囲する断熱性フレームとをさらに含んでもよい。

前記制御部は、さらに、前記温度制御素子の温度を制御してもよい。

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は所定の間隔で配置されており、前記所定の間隔に熱伝導性材料が充填されてもよい。

#### 【0021】

本発明による光発生装置は、第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光を発する第1の光源と、前記第1の光と、外部から入射した第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光とを結合させる光学系と、前記第1の光と第2の光とを、第3の波長 $\lambda_3$ を有する第3の光に変換する波長変換素子と、前記波長変換素子の位置を制御する制御部とを含み、前記波長変換素子は、ホルダーと、前記ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含み、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は少なくとも5つの面を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は実質的に1であり、前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第1の波長 $\lambda_1$ と第2の波長 $\lambda_2$ と第3の波長 $\lambda_3$ とが、関係 $1/\lambda_1 \pm 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ を満たすように、前記複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有しており、前記複数の角柱状強誘電体単結晶は、前記分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されており、これにより上記目的を達成する。

#### 【0022】

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは6つの面を有してもよい。

前記複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、不純物をドーブした実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、不純物をドーブした実質的に定比組成のタンタル酸リチウムからなる群から選択されてもよい。

前記ホルダーは熱伝導性材料から形成されてもよい。

前記波長変換素子は、前記ホルダーに設置された温度制御素子と、前記ホルダーと前記温度制御素子とを包囲する断熱性フレームとをさらに含んでもよい。

前記制御部は、さらに、前記温度制御素子の温度を制御してもよい。

前記複数の角柱状強誘電体単結晶は所定の間隔で配置されており、前記所定の間隔に熱伝導性材料が充填されてもよい。

#### 【発明の効果】

#### 【0023】

本発明の波長変換素子は、ホルダーと、ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含む。複数の角柱状強誘電体単結晶は、少なくとも5つの面を有しており、それぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は、実質的に1である。これにより、角柱状強

誘電体単結晶の配置を変更するだけで、入射光の偏光に対応させることができる。したがって、偏光子等の光学系が不要であるため、系全体を小型化することができる。

#### 【0024】

複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、分極方向に対して垂直な方向に、所定の周期を有する分極反転構造を有しており、分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されている。これにより、分極反転構造の作製に失敗した角柱状強誘電体単結晶のみを破棄すればよいので、波長変換素子作製時における歩留まりを向上させることができる。波長変換素子のうち1つの角柱状強誘電体単結晶にクラックが生じたとしても、隣接する角柱状強誘電体単結晶にはクラックが伝播することはない。また、損傷した角柱状強誘電体単結晶のみを交換すればよく、コストを削減することができる。また、ユーザのニーズに応じて、所望の組み合わせを達成することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0025】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳述する。実施の形態において、強誘電体単結晶としてMgをドーピングした実質的に定比組成のタンタル酸リチウム単結晶(MgSLT)を用いる。本明細書中において、実質的に「定比組成である」とは、 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Li}_2\text{O})$ のモル分率が完全に0.50ではないものの、コングルエント組成よりも化学両論比に近い組成( $\text{Li}_2\text{O}/(\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Li}_2\text{O})$ のモル分率=0.490~0.5)を有しており、そのことに起因するデバイスの特性の低下が通常のデバイスの設計において問題にならない程度であることをいう。このようなMgSLTは、例えば、特開2000-344595に記載される二重るつばを使用したチョクラルスキー法により作製され得る。MgSLTは、強誘電体単結晶の一例に過ぎず、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム(SLN)、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム(SLT)、不純物(例えば、Mg、Zn、Sc、In等)をドーピングしたSLNまたはSLT等の任意の強誘電体単結晶が用いられ得ることに留意されたい。

図中、同様の要素には同様の番号を付し、その説明を省略する。

#### 【0026】

##### (実施の形態1)

図1は、Mg0.1mol%ドーピングした実質的に定比組成のタンタル酸リチウム(MgSLT)のアイドラ光およびシグナル光発振波長の分極反転周期依存性を示す図である。

図において、横軸は分極反転周期を表し、縦軸はアイドラ光およびシグナル光の波長を表す。図1は、波長 $1.064\mu\text{m}$ を有するポンプ光を、種々の周期を有するMgSLTに入射させ、パラメトリック発振させた場合に生成するアイドラ光およびシグナル光の波長の分極反転周期依存性を示す。図1から、MgSLTをパラメトリック発振器に用いた場合、分極反転周期 $29.5\mu\text{m} \sim 32\mu\text{m}$ の範囲において、アイドラ光の発振波長は、 $2.9\mu\text{m} \sim 3.7\mu\text{m}$ のチューナビリティを有することが分かる。同様に、シグナル光の波長は、 $1.5\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$ のチューナビリティを有することが分かる。図には示さないが、分極反転周期を $26\mu\text{m} \sim 33\mu\text{m}$ の範囲において、上述のMgSLTのアイドラ光発振波長は、 $2.5\mu\text{m} \sim 4.0\mu\text{m}$ のチューナビリティを有し、シグナル光発振波長は、 $1.45\mu\text{m} \sim 1.85\mu\text{m}$ のチューナビリティを有することが分かっている。

#### 【0027】

図2は、本発明の実施の形態1による角柱状強誘電体単結晶の斜視図である。

角柱状強誘電体単結晶200は、例えば、図1のMgSLTである。角柱状強誘電体単結晶200は、少なくとも5つの面を有する。図では、面が6の場合の角柱状強誘電体単結晶を示す。角柱状強誘電体単結晶200は、分極方向に対して垂直な方向に所定の周期を有する周期分極反転構造201を有する。つまり、1つの角柱状強誘電体単結晶200は、単一のグレーティングを有する。

#### 【0028】

上述の所定の周期について説明する。角柱状強誘電体単結晶200を用いてパラメトリ

ック発振させる場合、角柱状強誘電体単結晶 200 に入射する光の波長を  $\lambda_1$  とし、角柱状強誘電体単結晶 200 から出射する光の波長を  $\lambda_2$  および  $\lambda_3$  とすると、関係  $1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$ 、関係  $\lambda_1 < \lambda_2$  および  $\lambda_1 < \lambda_3$  を満たすように、擬似位相整合する分極反転周期の範囲が決定される。同様に、角柱状強誘電体単結晶 200 を用いて第二高調波発生させる場合、角柱状強誘電体単結晶 200 に入射する光の波長を  $\lambda_1$  とし、角柱状強誘電体単結晶 200 から出射する光の波長を  $\lambda_2$  とすると、関係  $\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$  を満たすように、擬似位相整合する分極反転周期の範囲が決定される。同様に、角柱状強誘電体単結晶 200 を用いて差周波発生または和周波発生させる場合、角柱状強誘電体単結晶 200 に入射する光の波長を  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  とし、角柱状強誘電体単結晶 200 から出射する光の波長を  $\lambda_3$  とすると、関係  $1/\lambda_1 \pm 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$  を満たすように、擬似位相整合する分極反転周期が決定される。角柱状強誘電体単結晶 200 が MgSLT の場合、パラメトリック発振の分極反転周期は、 $26\mu\text{m} \sim 33\mu\text{m}$  の範囲から選択され、第二高調波の分極反転周期は  $1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$  の範囲から選択される。差周波発生の場合は、 $\lambda_2$  の波長の応じて任意の分極反転周期が採用される。このような分極反転周期は、強誘電体単結晶固有であることに留意されたい。

#### 【0029】

角柱状強誘電体単結晶 200 の分極方向に対して垂直な方向の長さ L は、例えば  $35\text{mm}$  である。角柱状強誘電体単結晶 200 の Z 軸方向の厚さ（長さ）T は、例えば、 $2\text{mm}$  である。角柱状強誘電体単結晶 200 の幅 W は、例えば、 $2\text{mm}$  である。これら、長さ L、厚さ T および幅 W は、一例に過ぎず、これらの値に限定されないことに留意されたい。図では、断面は角柱状強誘電体単結晶 200 の分極方向と平行な面を示すが、これに限定されない。このような周期分極反転構造 201 は、例えば、電圧印加法を用いて作製され得るが、この方法に限定されない。電子ビーム走査照射法およびプロトン交換熱処理法等の任意の方法を採用してもよい。角柱状強誘電体単結晶 200 の端面に反射膜が設けられていてもよい。

#### 【0030】

角柱状強誘電体単結晶 200 の長手方向に垂直な方向の面における各頂点を結んで形成される円 202 は、実質的に真円である。実質的に真円とは、円 202 の任意の直径 A および直径 B の比 ( $A/B$ ) が必ずしも 1 ではないものの、このような柱強誘電体単結晶 200 を用いた場合に生じるデバイスの特性の低下が通常のデバイスの設計において問題にならない程度であることをいう。本明細書では、このような角柱状強誘電体単結晶 200 の円 202 が実質的に真円であることを、角柱状強誘電体単結晶 200 の長手方向に対して垂直な面の縦横比が実質的に 1 であると言う。

#### 【0031】

このよう角柱状強誘電体単結晶 200 の縦横比が実質的に 1 であるため、入射光の偏光に応じて、角柱状強誘電体単結晶 200 の配置を変更することができる。つまり、角柱状強誘電体単結晶 200 は、配置を変更するだけで任意の偏光を有する光を波長変換することができる。

#### 【0032】

図 3 は、本発明の実施の形態 1 による波長変換素子の斜視図である。

波長変換素子 300 は、ホルダー 301 と、複数の角柱状強誘電体単結晶 302 とを含む。

ホルダー 301 には、複数の角柱状強誘電体単結晶 302 が收容される。ホルダー 301 のサイズ（長さ、幅、厚さ）は、收容される角柱状強誘電体単結晶 200 の数、複数の角柱状強誘電体単結晶 302 の配置に応じて変更され得る。図では、ホルダー 301 は底部と蓋部とからなるが、ホルダー 301 の構成は、このような構成に限定されない。例えば、矩形の筒であってもよい。

ホルダー 301 は、好ましくは、銅などの熱伝導性材料から形成される。これにより、複数の角柱状強誘電体単結晶 302 で生じた、入射光の照射による熱分布を低減することができる。複数の角柱状強誘電体単結晶 302 に熱分布が生じると、複数の角柱状強誘電

体単結晶 302 それぞれの屈折率が熱によって変化してしまい、所望の波長変換を行うことができない場合がある。

#### 【0033】

複数の角柱状強誘電体単結晶 302 は、それぞれの分極方向に垂直な方向が同一となるように配置されている。これにより容易にマルチグレーティングが達成され得る。図では、簡単のため、5本の角柱状強誘電体単結晶 300 が、平面状に、かつ、それぞれの分極方向が同一となるように配置されている。ただし、角柱状強誘電体単結晶 200 の数および配置様態は、角柱状強誘電体単結晶 200 のそれぞれの分極方向に垂直な方向が同一となる限り、任意である。複数の角柱状強誘電体単結晶 302 それぞれの分極反転周期は、上述の所定の周期範囲からユーザのニーズに応じて選択される。

#### 【0034】

このように本発明による波長変換素子 300 は、単一のグレーティングを有する単一の角柱状強誘電体単結晶 200 を任意に組み合わせることによってマルチグレーティングを達成する。これにより、波長変換素子 300 作製時に複数の角柱状強誘電体単結晶（マルチグレーティング）302 のうちいずれかの角柱状強誘電体単結晶が損傷した場合には、損傷した角柱状強誘電体単結晶のみを交換すればよいので歩留まりを向上させることができる。また、波長変換素子 300 の使用時に 1つの角柱状強誘電体単結晶にクラックが発生したとしても、隣接する角柱状強誘電体単結晶にはクラックが伝播することはない。したがって、クラックが発生した角柱状強誘電体単結晶のみを交換すればよいので、ユーザ側のコストを削減することができる。

#### 【0035】

次に、波長変換素子 300 の動作を説明する。

波長変換素子 300 の外部（例えば、光源）からの光（入射光）は、所望の波長を有する光に変換されるよう複数の角柱状強誘電体単結晶 302 のうち特定の分極反転周期を有する角柱状強誘電体単結晶に入射する。この場合、入射光の偏光モードは、縦モードであるものとする。波長変換素子 300 の分極反転周期に応じて、入射光は、パラメトリック発振、第二高調波発生または差周波発生に基づいて、波長変換される。その後、出射光として波長変換素子 300 から出射する。例えば、パラメトリック発振の場合、ポンプ光（入射光）の波長が  $1.064\ \mu\text{m}$  であり、特定の分極反転周期が  $31.8\ \mu\text{m}$  である場合、アイドラ光およびシグナル光（出射光）の波長は、それぞれ、 $2.5\ \mu\text{m}$  および  $1.85\ \mu\text{m}$  となる。このように、入射光が、特定の分極反転周期を有する角柱状強誘電体単結晶に照射するように波長変換素子 300 を手動で、または、機械制御を用いて移動することによって、チューナビリティが達成され得る。

#### 【0036】

図 4 は、本発明の実施の形態 1 による別の波長変換素子の斜視図である。

波長変換素子 400 は、複数の角柱状強誘電体単結晶 401 の配置様態が図 3 と異なる以外は、図 3 に示す波長変換素子 300 と同様である。複数の角柱状強誘電体単結晶 401 は、それぞれの分極方向が互いに  $90^\circ$  となるように配置されている。ただし、図 4 は一例であって、複数の角柱状強誘電体単結晶 401 の配置様態は、任意である。

#### 【0037】

このように複数の角柱状強誘電体単結晶 401 を分極方向が互いに異なるように配置することによって、入射光の偏光モードが TE モードであっても、入射光の光源（図示せず）と波長変換素子 400 との間に偏光子等の光学系を設けることなく、波長変換することができる。したがって、系全体を小型化することができる。

#### 【0038】

本発明によれば、角柱状強誘電体単結晶 200 の縦横比が実質的に 1 であるため、入射光に対する波長変換素子 300、400 の分極方向を任意の方向となるように配置できる。その結果、光源の偏光に対する自由度が高くなるので、任意の光源を用いることができる。

#### 【0039】

図5は、MgO 1mol%ドーピングした実質的に定比組成のタンタル酸リチウム (MgSLT) のアイドラ光およびシグナル光発振波長の温度依存性を示す図である。

【0040】

図において、横軸は分極反転周期を表し、縦軸はアイドラ光およびシグナル光の発振波長を表す。図5は、波長 $1.064\mu\text{m}$ を有するポンプ光を、種々の温度において、種々の周期を有するMgSLTに入射させ、パラメトリック発振させた場合に生成するアイドラ光およびシグナル光の発振波長の分極反転周期依存性を示す。図中、MgSLTの室温( $30^{\circ}\text{C}$ )における結果とMgSLTをそれぞれ $70^{\circ}\text{C}$ 、 $110^{\circ}\text{C}$ 、 $150^{\circ}\text{C}$ および $190^{\circ}\text{C}$ に加熱した場合の結果とを示す。図5から、MgSLTをパラメトリック発振器に用いた場合、例えば、アイドラ光発振波長では、同一分極反転周期において約 $0.4\mu\text{m}$ の温度によるチューナビリティを有することが分かった。分極反転構造の周期を制御することに加えて、角柱状強誘電体単結晶200の温度を制御すれば、より高精度に制御されたチューナビリティを達成することができる。

【0041】

図6は、本発明の実施の形態1によるさらに別の波長変換素子の斜視図である。

図6(A)に示す波長変換素子600は、温度制御素子601を有する以外は図3を参照して説明した波長変換素子300と同じである。図5を参照して説明したように、例えば、MgSLTからなる角柱状強誘電体単結晶は、温度によるチューナビリティを有しているので、波長変換素子600に温度制御素子601を設置することによってより高精度に制御されたチューナビリティが達成され得る。図6(B)に示す波長変換素子610は、温度制御素子601を包囲するフレーム602を備える。フレーム602は、断熱性材料から形成されている。このように、ホルダー301および温度制御素子601を断熱性のフレーム602で包囲することによって、温度制御素子601の熱の散逸を妨げ、均一に複数の角柱状強誘電体単結晶302を加熱することができるとともに、ユーザが温度制御素子601の熱によって怪我することを防ぐ。温度制御素子601は、例えば、ペルチェ素子であり得る。

【0042】

波長変換素子600または610は、温度制御素子601を制御するために、制御部(図示せず)をさらに備えてもよい。このような制御部は、図1に示すような強誘電体単結晶材料固有の出射波長の分極反転周期依存性、および/または、図5に示すような強誘電体単結晶固有の出射波長の温度依存性を有しており、これらの関係を利用して適切な温度となるように温度制御素子601を制御してもよい。

【0043】

図7は、本発明の実施の形態1によるさらに別の波長変換素子の斜視図である。

波長変換素子700は、複数の角柱状強誘電体単結晶が所定の間隔で配置されており、所定の間隔には熱伝導性材料が充填されている以外は、図3を参照して説明した波長変換素子300と同じである。このように、各角柱状強誘電体単結晶間に熱伝導性材料701を充填することによって、入射光によって角柱状強誘電体単結晶に生じ得る熱を散逸させて、熱分布が生じるのを低減することができる。この結果、熱による複屈折効果が低減されるので、波長変換素子700伝播する光の偏光モードが維持され、変換効率を一定に保つことができる。所定の間隔は、例えば、 $50\mu\text{m}$ であるが、この間隔に限定されない。図7では、ホルダー301と熱伝導性材料701とは別個の要素として示すが、ホルダー301と熱伝導性材料701とは一体型であってもよい。

【0044】

以上説明してきたように、所定の周期を有する角柱状強誘電体単結晶を組み合わせ、マルチグレーティングを有する波長変換素子を形成することによって、変換波長のチューナビリティを容易に達成する。角柱状強誘電体単結晶は、縦横比が実質的に1であるため、入射光の偏光方位に依存しない。したがって、入射光の光源の自由度が増すとともに、光学系全体を小型化できる。本発明による波長変換素子は、角柱状強誘電体単結晶を組み合わせ形成されるため、製造時に破損した角柱状強誘電体単結晶のみを破棄すればよく、



歩留まりを向上させる。さらに、使用時には、破損した角柱状強誘電体単結晶のみを交換すればよく、ユーザ側のコストの削減になる。本発明による波長変換素子は、角柱状強誘電体単結晶を任意に組み合わせて形成されるので、ユーザのニーズに合わせた調整が可能である。

#### 【0045】

実施の形態1では、図2を参照して説明した面が6である、MgSLTの角柱状強誘電体単結晶200を用いた波長変換素子の例を示してきた。これらは単に例示にすぎないことを理解されたい。任意の強誘電体単結晶材料を用い、少なくとも5つの面を有し、かつ、縦横比が実質的に1である複数の角柱状強誘電体単結晶を用いれば、本発明の効果を奏することができる。

#### 【0046】

##### (実施の形態2)

図8は、本発明の実施の形態2によるパラメトリック発振を利用した光発生装置を示す図である。

光発生装置800は、光源801と、波長変換素子802と、制御部803とを含む。

#### 【0047】

光源801は、第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光（ポンプ光）を発する。本発明によれば、第1の光の偏光は、TMモードであってもよいし、TEモードであってもよい。光源801は、例えば、第1の波長 $\lambda_1 = 1.064 \mu\text{m}$ のQスイッチNd:YAGレーザである。光源801にチューナブル光源を用いてもよい。

#### 【0048】

波長変換素子802は、実施の形態1で説明した波長変換素子300、400、600、610、700のいずれか、または、その変形例である。波長変換素子802は、光源801から受け取った第1の光を、第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光（シグナル光）と、第3の波長 $\lambda_3$ を有する第3の光（アイドラ光）とに波長変換する。この際、波長変換素子802内の複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第1の波長 $\lambda_1$ と、第2の波長 $\lambda_2$ と、第3の波長 $\lambda_3$ とが、関係 $1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$ 、関係 $\lambda_1 < \lambda_2$ および $\lambda_1 < \lambda_3$ を満たすように、分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有する。角柱状強誘電体単結晶に図1および図5に示したMgSLTを用いた場合、角柱状強誘電体単結晶の分極反転周期は、 $26 \mu\text{m} \sim 33 \mu\text{m}$ の範囲から選択される。角柱状強誘電体単結晶は、MgSLTに限定されない。

#### 【0049】

制御部803は、波長変換素子802内の所定の角柱状強誘電体単結晶に光源801が発する第1の光が照射するように、波長変換素子802の位置を制御する。制御部803は、光源801から第1の光の有する情報（例えば、波長、偏光）を入手し、入手した情報に基づいて波長変換素子802の位置を制御してもよい。制御部803は、例えば、図1および図5に示す角柱状強誘電体単結晶のアイドラ光およびシグナル光の周期依存性のデータ、および、温度依存性のデータを格納し、これらデータに基づいて波長変換素子802の位置を制御してもよい。

#### 【0050】

光発生装置800は、光源801と波長変換素子802との間、および、波長変換素子802の出射側にそれぞれ反射ミラー（図示せず）を設けて、共振器として機能させてもよい。

#### 【0051】

次に、光発生装置800の動作を説明する。

光源801は、第1の波長 $\lambda_1 = 1.064 \mu\text{m}$ を有する第1の光を波長変換素子802へ発する。制御部803は、ユーザが所望する波長の光が得られるように、第1の光の有する情報（波長および偏光）等に基づいて、波長変換素子802の位置を制御する。例えば、ユーザが、第3の波長 $\lambda_3 = 3.62 \mu\text{m}$ を有する第3の光（アイドラ光）を所望する場合、制御部803は、第1の光が $30 \mu\text{m}$ の分極反転周期を有する角柱状強誘電体

単結晶に入射するように、波長変換素子 802 の位置を制御する。

【0052】

波長変換素子 802 の所定の角柱状強誘電体単結晶に入射した第 1 の光は、上記の関係を満たして、第 2 の波長  $\lambda_2 = 1.507 \mu\text{m}$  を有する第 2 の光（シグナル光）および第 3 の波長  $\lambda_3 = 3.62 \mu\text{m}$  を有する第 3 の光（アイドラ光）に波長変換される。

このようにして波長変換された第 2 の光は、光通信の波長帯域であるため、光通信での利用が可能である。第 3 の光は、ガス分光に有効な波長帯域であるため、化学分析に利用可能である。

【0053】

本発明による光発生装置 800 は、所定の周期を有する角柱状強誘電体単結晶を組み合わせたマルチグレーティングを有する波長変換素子 802 を含む。これにより、変換波長のチューナビリティを容易に達成する。実施の形態 1 で説明したように、角柱状強誘電体単結晶は、縦横比が実質的に 1 であるため、入射光の偏光方位に依存しない。したがって、入射光の光源の自由度が増すとともに、光学系全体を小型化できる。

【0054】

本発明による光発生装置 800 の波長変換素子 802 は、角柱状強誘電体単結晶を組み合わせて形成されるため、製造時に破損した角柱状強誘電体単結晶のみを破棄すればよく、歩留まりを向上させる。さらに、使用時には、破損した角柱状強誘電体単結晶のみを交換すればよく、ユーザ側のコストの削減になる。本発明による光発生装置 800 の波長変換素子 802 は、角柱状強誘電体単結晶を任意に組み合わせて形成されるので、ユーザのニーズに合わせた調整が可能である。

【0055】

（実施の形態 3）

図 9 は、本発明の実施の形態 3 による第二高調波発生を利用した光発生装置を示す図である。

光発生装置 900 は、光源 901 と、波長変換素子 902 と、制御部 903 とを含む。

光源 901 は、第 1 の波長  $\lambda_1$  を有する第 1 の光（基本波）を発する。本発明によれば、第 1 の光の偏光は、TM モードであってもよいし、TE モードであってもよい。光源 901 は、コヒーレントな第 1 の光を発するチューナブル半導体レーザ（波長可変レーザ）であり得る。

【0056】

波長変換素子 902 は、実施の形態 1 で説明した波長変換素子 300、400、600、610、700 のいずれか、または、その変形例である。波長変換素子 902 は、光源 901 から受け取った第 1 の光を、第 2 の波長  $\lambda_2$  を有する第 2 の光（第二高調波）に波長変換する。この際、波長変換素子 902 内の複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第 1 の波長  $\lambda_1$  と第 2 の波長  $\lambda_2$  とが、関係  $\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$  を満たすように、分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有する。角柱状強誘電体単結晶に MgSLT を用いた場合、角柱状強誘電体単結晶の分極反転周期は、 $1 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$  の範囲から選択される。角柱状強誘電体単結晶は、MgSLT に限定されない。

【0057】

制御部 903 は、波長変換素子 902 内の所定の角柱状強誘電体単結晶に光源 901 が発する第 1 の光が照射するように、波長変換素子 902 の位置を制御する。制御部 903 は、光源 901 から第 1 の光の有する情報（例えば、波長、偏光）に入手し、入手した情報に基づいて波長変換素子 902 の位置を制御してもよい。制御部 903 は、例えば、角柱状強誘電体単結晶の第 2 高調波の周期依存性のデータ、および、温度依存性のデータを格納し、これらデータに基づいて波長変換素子 902 の位置を制御してもよい。制御部 903 は、ユーザが所望する波長の光が得られるように、光源 901 が発する第 1 の波長  $\lambda_1$  を設定するように光源 901 を制御してもよい。

光発生装置 900 は、光源 901 と波長変換素子 902 との間、および、波長変換素子



902の出射側にそれぞれ反射ミラー（図示せず）を設けて、共振器として機能させてもよい。

#### 【0058】

次に、光発生装置900の動作を説明する。

例えば、ユーザが、第2の波長 $\lambda_2 = 0.39 \mu\text{m}$ を有する第2の光を所望する場合、制御部903は、光源901が第1の波長 $\lambda_1 = 0.78 \mu\text{m}$ を有する第1の波長を発するように、光源901を制御する。次いで、制御部903は、第1の光の有する情報（波長および偏光）等に基づいて、波長変換素子902の位置を制御する。この場合、制御部903は、第1の光が $3 \mu\text{m}$ の分極反転周期を有する角柱状強誘電体単結晶に入射するように、波長変換素子902の位置を制御する。波長変換素子902の所定の角柱状強誘電体単結晶に入射した第1の光は、上記の関係式を満たして、第2の波長 $\lambda_2 = 0.39 \mu\text{m}$ を有する第2の光（第二高調波）に波長変換される。

#### 【0059】

実施の形態3による光発生装置900は、所定の周期を有する角柱状強誘電体単結晶を組み合わせたマルチグレーティングを有する波長変換素子902を含む。これにより、特に、基本波を発するチューナブルな光源901に対して常に位相整合した第二高調波を発生することができる（すなわち、光源901のチューナビリティを容易に達成する）。実施の形態1で説明したように、角柱状強誘電体単結晶は、縦横比が実質的に1であるため、入射光の偏光方位に依存しない。したがって、入射光の光源の自由度が増すとともに、光学系全体を小型化できる。

#### 【0060】

本発明による波長変換素子は、角柱状強誘電体単結晶を組み合わせて形成されるため、製造時に破損した角柱状強誘電体単結晶のみを破棄すればよく、歩留まりを向上させる。さらに、使用時には、破損した角柱状強誘電体単結晶のみを交換すればよく、ユーザ側のコストの削減になる。本発明による波長変換素子は、角柱状強誘電体単結晶を任意に組み合わせて形成されるので、ユーザのニーズに合わせた調整が可能である。

#### 【0061】

（実施の形態4）

図10は、本発明の実施の形態4による差周波発生を利用した光発生装置を示す図である。

光発生装置1000は、光源1001と、結合光学系1002と、波長変換素子1003と、制御部1004とを含む。

#### 【0062】

光源1001は、第1の波長 $\lambda_1$ を有する第1の光（ポンプ光）を発する。本発明によれば、第1の光の偏光は、TMモードであってもよいし、TEモードであってもよい。光源1001は、例えば、第1の波長 $\lambda_1 = 0.78 \mu\text{m}$ の半導体レーザであり得る。光源1001にチューナブル光源を用いてもよい。

#### 【0063】

結合光学系1002は、光源1001からの第1の光と、第2の波長 $\lambda_2$ を有する第2の光（シグナル光）とを結合する任意の光学系である。第2の光は、例えば、波長領域多重（WDM）において代表的な通信帯であるCバンド帯（ $1.53 \mu\text{m} \sim 1.57 \mu\text{m}$ ）の光である。第1の波長 $\lambda_1$ と第2の波長 $\lambda_2$ は、関係 $\lambda_1 < \lambda_2$ を満たす。

#### 【0064】

波長変換素子1003は、実施の形態1で説明した波長変換素子300、400、600、610、700のいずれか、または、その変形例である。波長変換素子1003は、結合光学系1002で結合された第1の光と第2の光とを、第3の波長 $\lambda_3$ を有する第3の光（出力光）に波長変換する。この際、波長変換素子1003内の複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第1の波長 $\lambda_1$ と、第2の波長 $\lambda_2$ と、第3の波長 $\lambda_3$ とが、関係 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ を満たすように、分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有する。角柱状強誘電体単結晶は、MgSLT

に限定されない。

#### 【0065】

制御部1004は、波長変換素子1003内の所定の角柱状強誘電体単結晶に結合光学系1002で結合された第1の光および第2の光が照射するように、波長変換素子1003の位置を制御する。制御部1004は、光源1001から第1の光の有する情報（例えば、波長、偏光）および第2の光の有する情報（例えば、波長、偏光）を入手し、入手した情報に基づいて波長変換素子1003の位置を制御してもよい。制御部1004は、例えば、角柱状強誘電体単結晶のシグナル光および出射光の周期依存性のデータ、および、温度依存性のデータを格納し、これらデータに基づいて波長変換素子1003の位置を制御してもよい。

#### 【0066】

光発生装置1000は、結合光学系1002と波長変換素子1003との間、および、波長変換素子1003の出射側にそれぞれ反射ミラー（図示せず）を設けて、共振器として機能させてもよい。

#### 【0067】

次に、光発生装置1000の動作を説明する。

例えば、ユーザが、第2の波長 $\lambda_2 = 1.55 \mu\text{m}$ を有する第2の光（Cバンド帯）をLバンド帯の波長を有する第3の光に変換することを所望する場合、制御部1004は、第1の光の有する情報（波長および偏光）および第2の光の有する情報（波長および偏光）等に基づいて、波長変換素子1003の位置を制御する。この場合、制御部1004は、結合光学系1002で結合された第1の光および第2の光が、例えば、 $17 \mu\text{m}$ の分極反転周期を有する角柱状強誘電体単結晶に入射するように、波長変換素子1003の位置を制御する。波長変換素子1003の所定の角柱状強誘電体単結晶に入射した第1の光および第2の光は、上記の関係式を満たして、第3の波長 $\lambda_3 = 1.57 \mu\text{m}$ を有する第3の光に波長変換される。このようにして変換された第3の波長 $\lambda_3$ は、波長領域多重（WDM）において代表的な通信帯であるLバンド帯（ $1.57 \mu\text{m} \sim 1.62 \mu\text{m}$ ）である。

#### 【0068】

実施の形態4による光発生装置1000は、所定の周期を有する角柱状強誘電体単結晶を組み合わせたマルチグレーティングを有する波長変換素子を含む。これにより、光源1001がチューナブル光源であれば、固定のCバンド帯の波長（第2の光の第2の波長 $\lambda_2$ ）ば、Lバンド帯の波長（第3の波長 $\lambda_3$ ）へとチューナブルに調整することができる。また、光源1001が単一波長を発する光源である場合、Cバンド帯の波長（第2の光の第2の波長 $\lambda_2$ ）を可変にすれば、Lバンド帯の波長（第3の波長 $\lambda_3$ ）をチューナブルに調整することができる。このように、C-Lバンド変換をチューナブルに行うことができる。実施の形態1で説明したように、角柱状強誘電体単結晶は、縦横比が実質的に1であるため、入射光の偏光方位に依存しない。したがって、入射光の光源の自由度が増すとともに、光学系全体を小型化できる。

#### 【0069】

本発明による光発生装置1000の波長変換素子1003は、角柱状強誘電体単結晶を組み合わせて形成されるため、製造時に破損した角柱状強誘電体単結晶のみを破棄すればよく、歩留まりを向上させる。さらに、使用時には、破損した角柱状強誘電体単結晶のみを交換すればよく、ユーザ側のコストの削減になる。本発明による光発生装置1000の波長変換素子1003は、角柱状強誘電体単結晶を任意に組み合わせて形成されるので、ユーザのニーズに合わせた調整が可能である。

#### 【0070】

図10に示される光発生装置1000を用いて、差周波発生させる場合を説明したが、光発生装置1000を用いて和周波発生させることもできることに留意されたい。この場合、波長変換素子1003内の複数の円柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、第1の波長 $\lambda_1$ と、第2の波長 $\lambda_2$ と、第3の波長 $\lambda_3$ とが、関係 $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 = 1/\lambda_3$ を満たすよ

うに、分極方向に対して垂直な方向に擬似位相整合する所定の周期を有する分極反転構造を有していればよい。

【産業上の利用可能性】

【0071】

本発明の波長変換素子は、ホルダーと、ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含む。複数の角柱状強誘電体単結晶は、少なくとも5つの面を有しており、それぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は、実質的に1である。これにより、角柱状強誘電体単結晶の配置を変更するだけで、入射光の偏光に対応させることができる。したがって、偏光子等の光学系が不要であるため、系全体を小型化することができる。

【0072】

複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、分極方向に対して垂直な方向に、所定の周期を有する分極反転構造を有しており、分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されている。これにより、分極反転構造の作製に失敗した角柱状強誘電体単結晶のみを破棄すればよいので、波長変換素子作製時における歩留まりを向上させることができる。波長変換素子のうち1つの角柱状強誘電体単結晶にクラックが生じたとしても、隣接する角柱状強誘電体単結晶にはクラックが伝播することはない。また、損傷した角柱状強誘電体単結晶のみを交換すればよく、コストを削減することができる。また、ユーザのニーズに応じて、所望の組み合わせを達成することができる。

【0073】

本発明による波長変換素子は、それぞれが所定の周期を有する分極反転構造を有する円柱状強誘電体単結晶を組み合わせ、マルチグレーティングを有する波長変換素子を形成することによって、変換波長のチューナビリティを容易に達成する。このような波長変換素子を化学分析、通信等に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図1】 MgO 1mol%ドーピングした実質的に定比組成のタンタル酸リチウム (MgSLT) のアイドラ光およびシグナル光発振波長の分極反転周期依存性を示す図

【図2】 本発明の実施の形態1による角柱状強誘電体単結晶の斜視図

【図3】 本発明の実施の形態1による波長変換素子の斜視図

【図4】 本発明の実施の形態1による別の波長変換素子の斜視図

【図5】 MgO 1mol%ドーピングした実質的に定比組成のタンタル酸リチウム (MgSLT) のアイドラ光およびシグナル光発振波長の温度依存性を示す図

【図6】 本発明の実施の形態1によるさらに別の波長変換素子の斜視図

【図7】 本発明の実施の形態1によるさらに別の波長変換素子の斜視図

【図8】 本発明の実施の形態2によるパラメトリック発振を利用した光発生装置を示す図

【図9】 本発明の実施の形態3による第二高調波発生を利用した光発生装置を示す図

【図10】 本発明の実施の形態4による差周波発生を利用した光発生装置を示す図

【図11】 従来技術によるマルチグレーティング型擬似位相整合 (QPM) パラメトリック発振器 (OPQ) を示す図

【符号の説明】

【0075】

200、300、400、600、610、700、802、902、1003 波長変換素子

201 周期分極反転構造

202 実質的な真円

301 ホルダー

302、402 複数の角柱状強誘電体単結晶

601 温度制御素子

602 フレーム

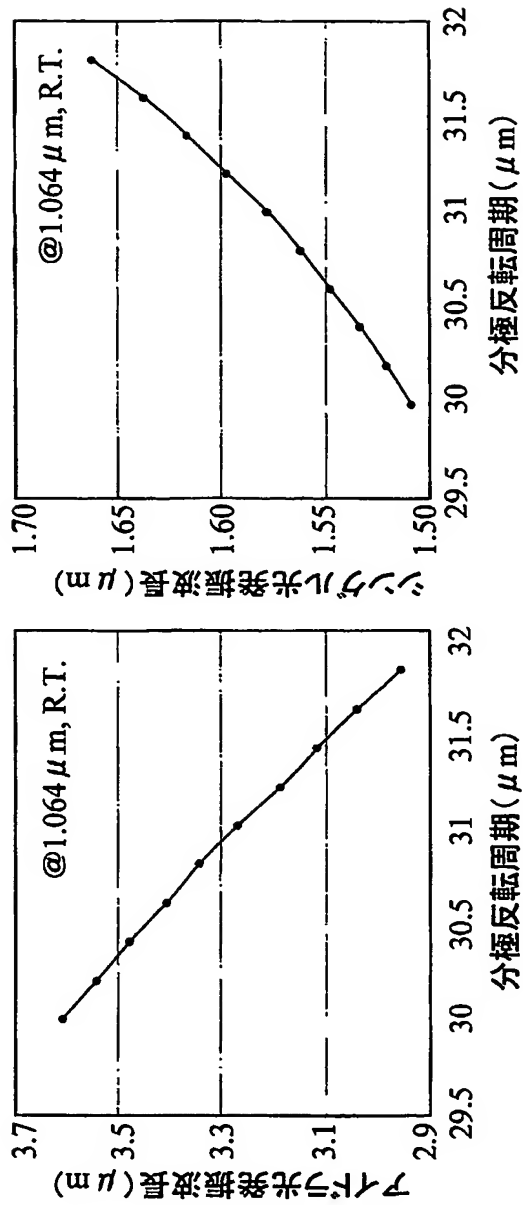
7 0 1 熱伝導性材料

8 0 1、9 0 1、1 0 0 1 光源

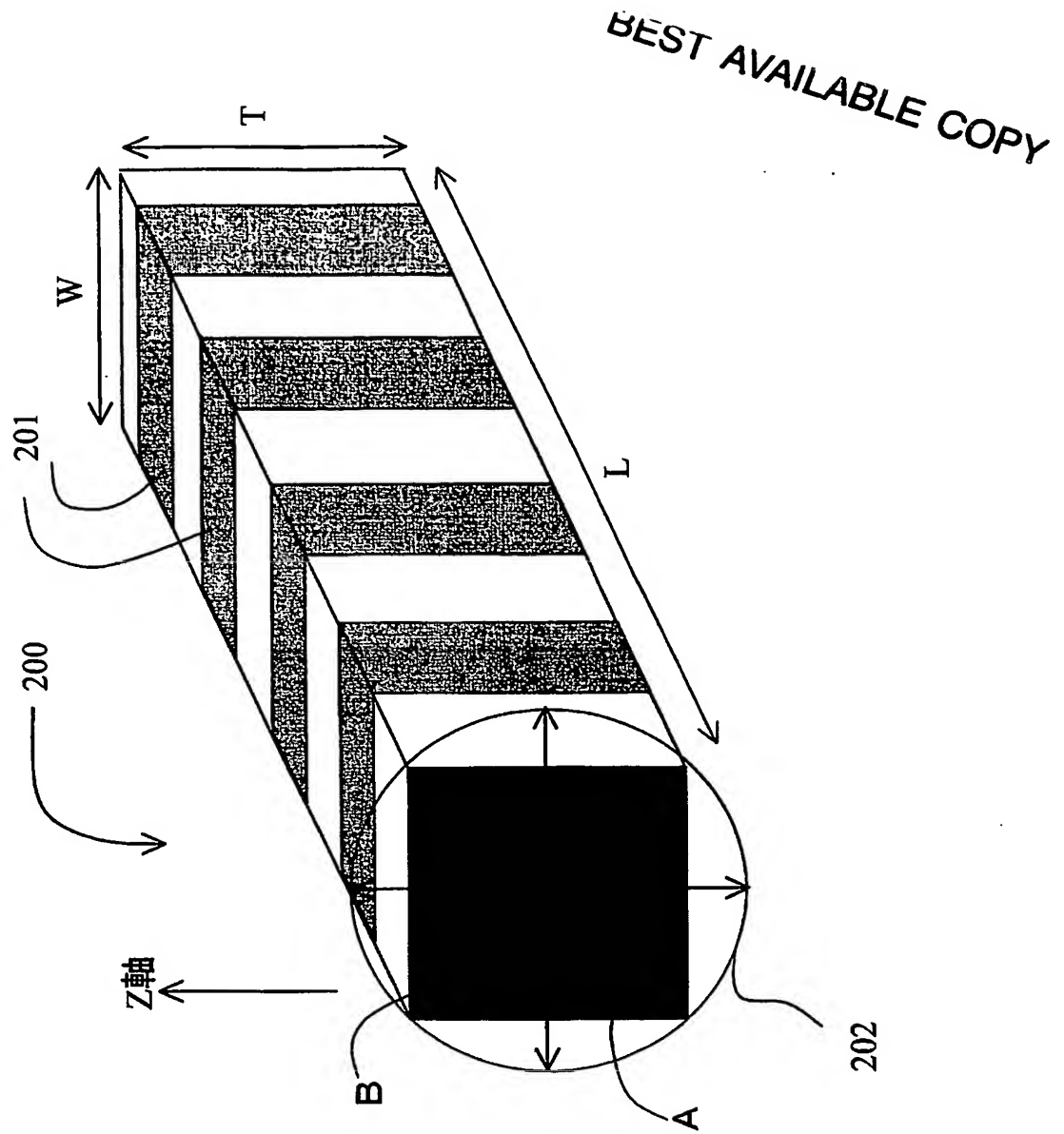
8 0 3、9 0 3、1 0 0 4 制御部

1 0 0 2 結合光学系

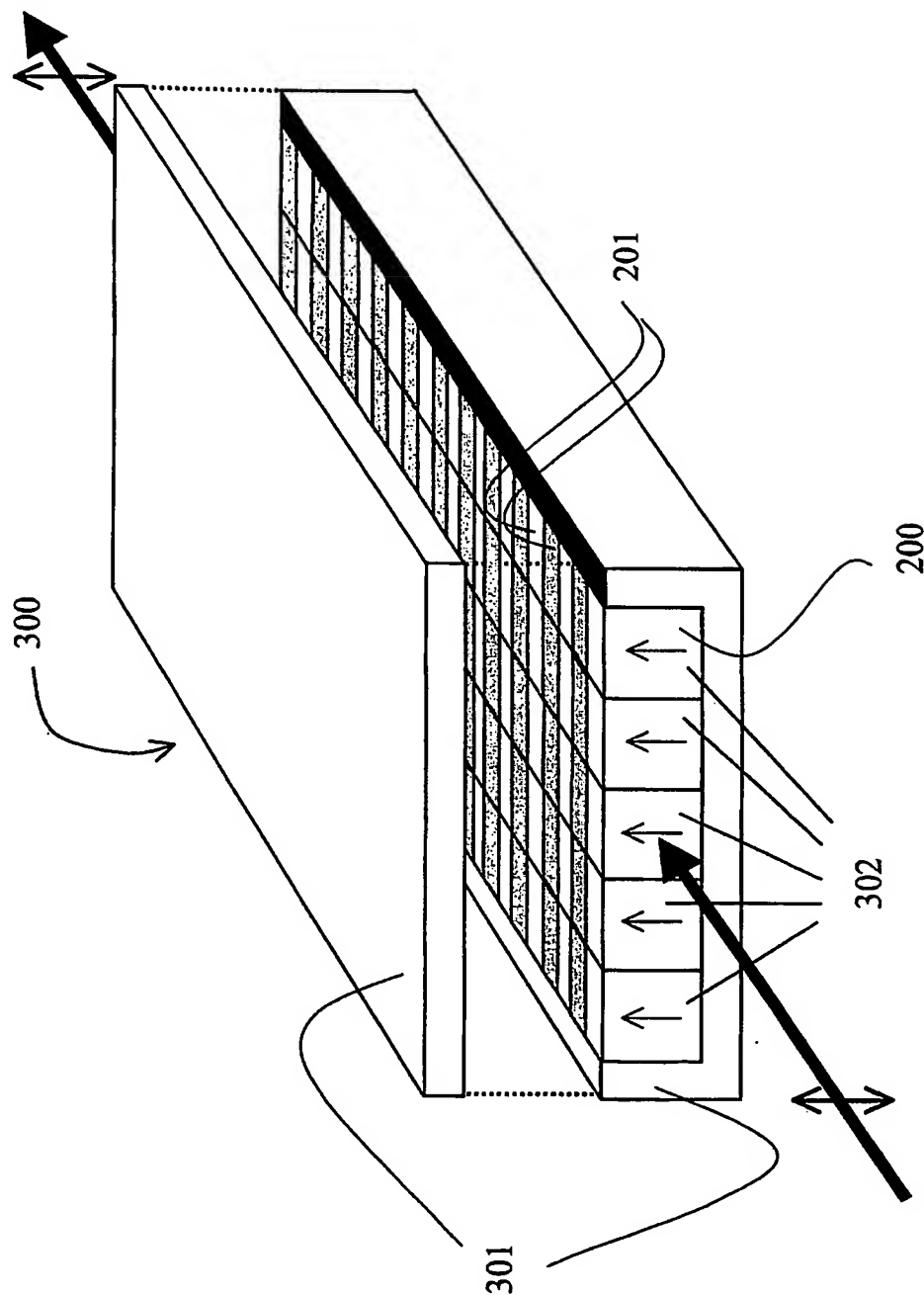
【書類名】 図面  
【図 1】



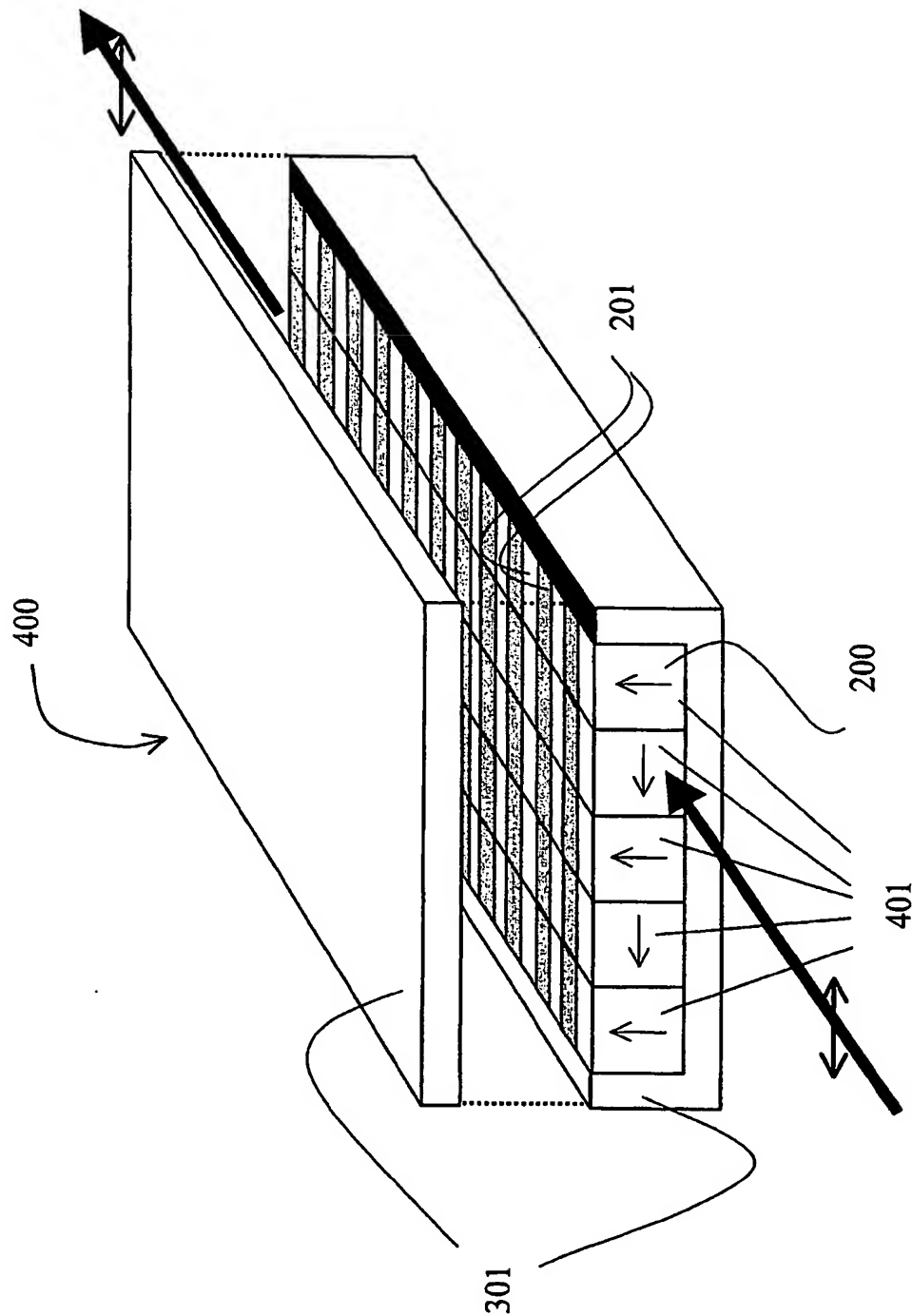
【図 2】



【図 3】

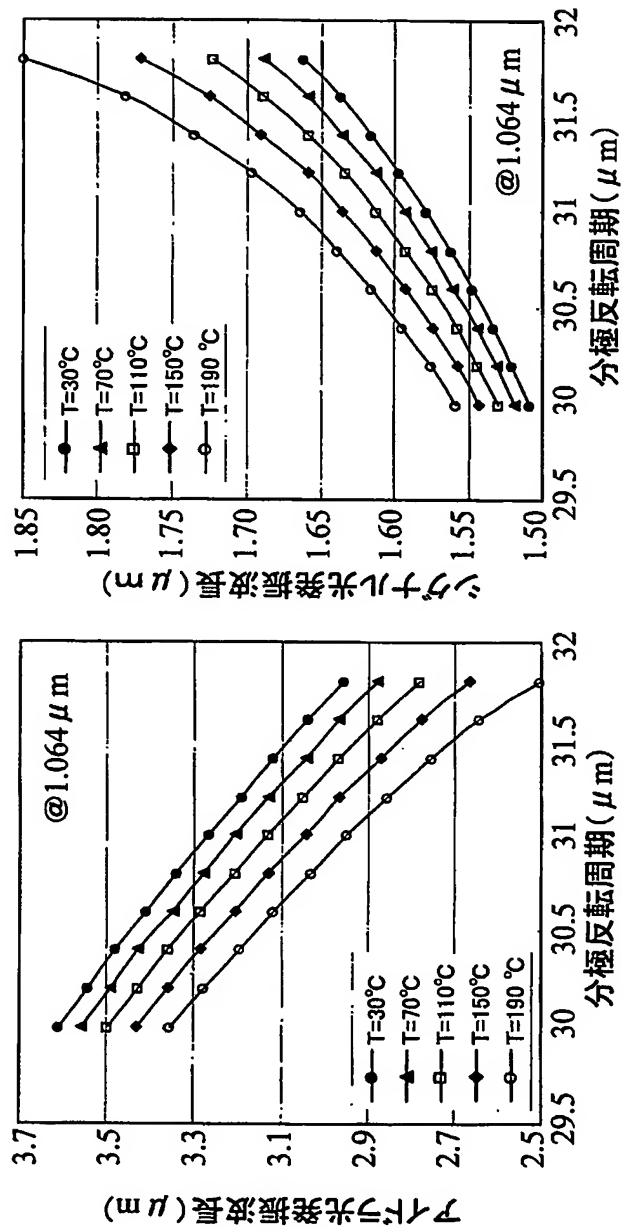


【図 4】

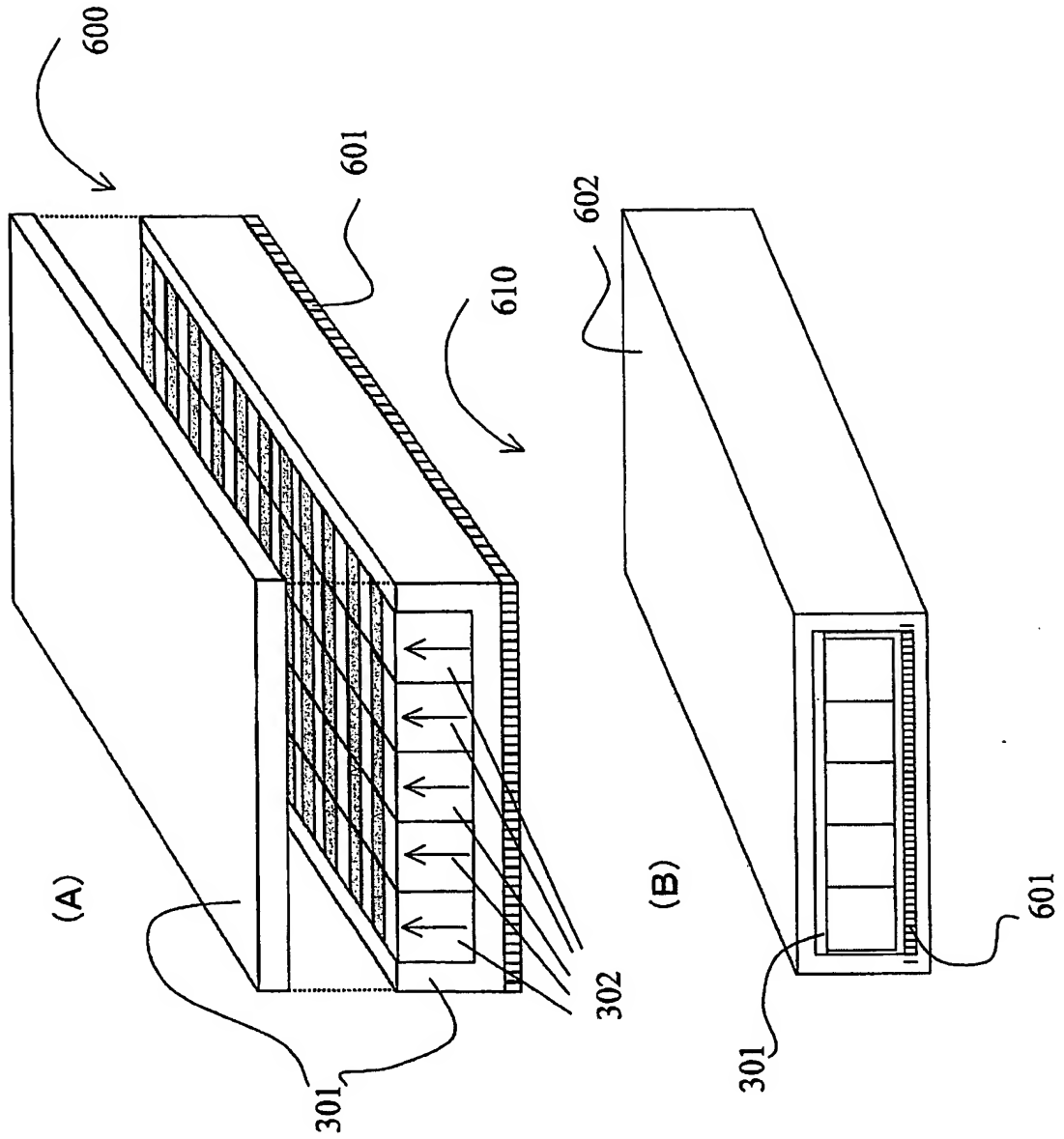




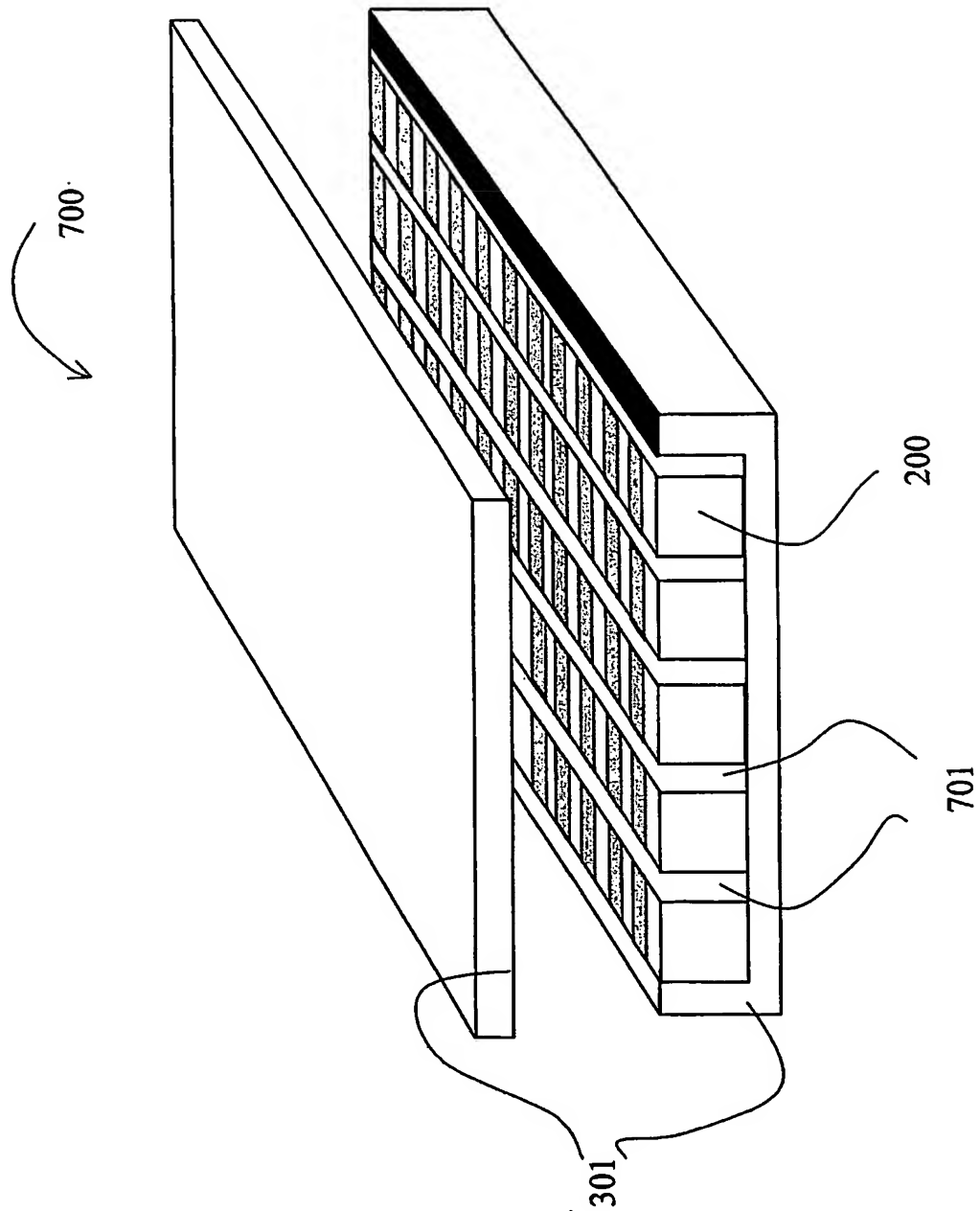
【図 5】



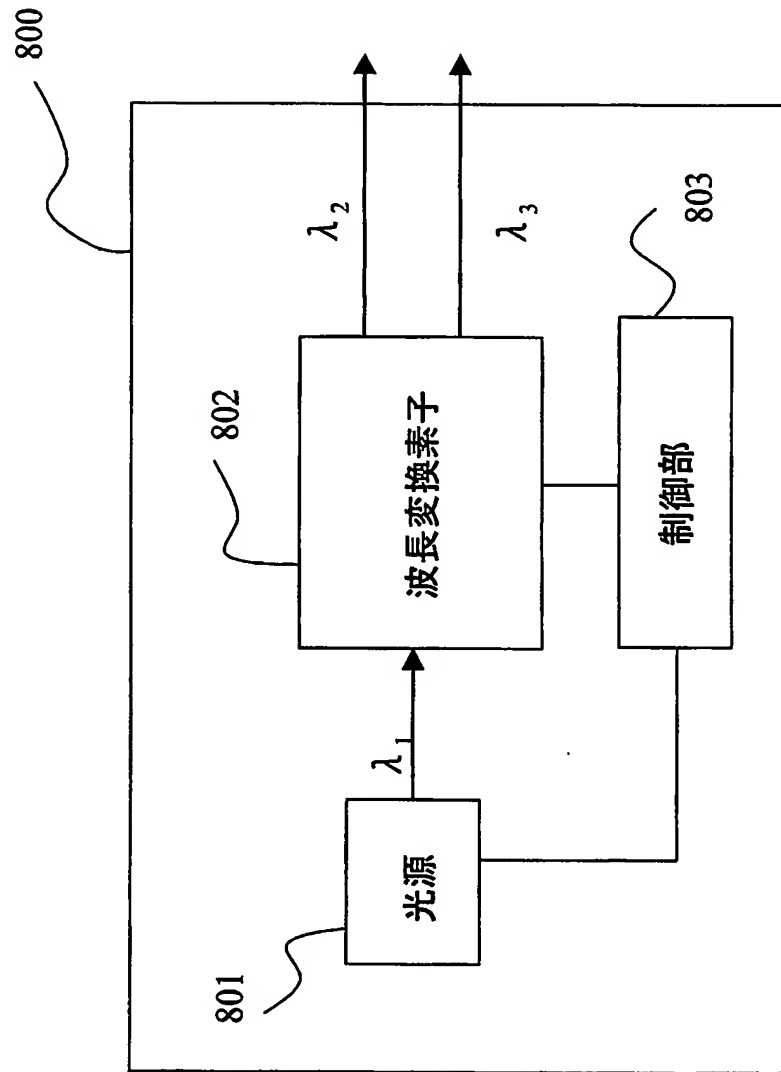
【図 6】



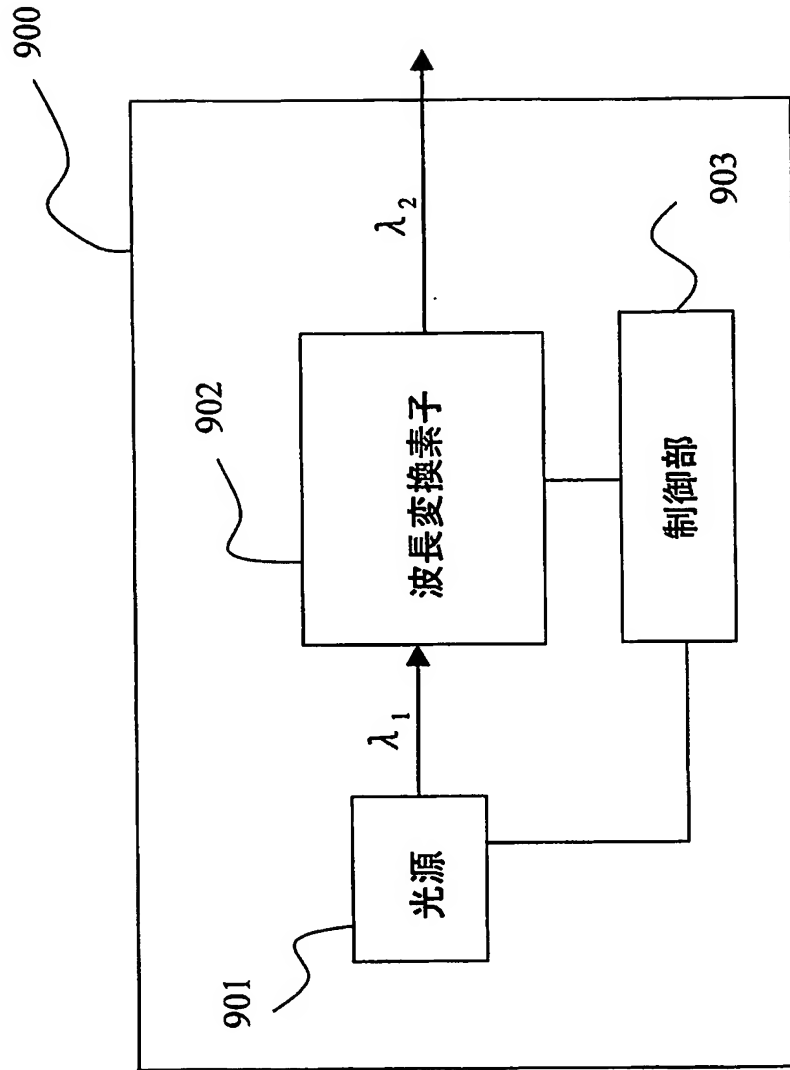
【図 7】



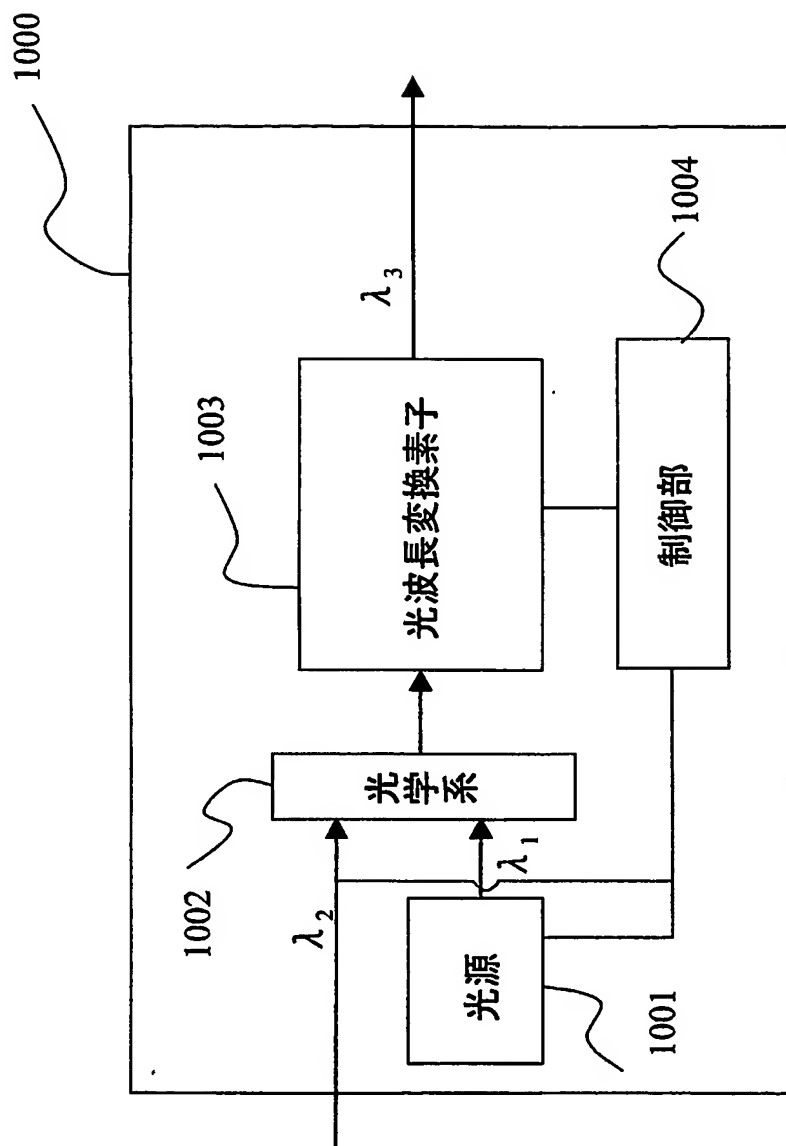
【図 8】



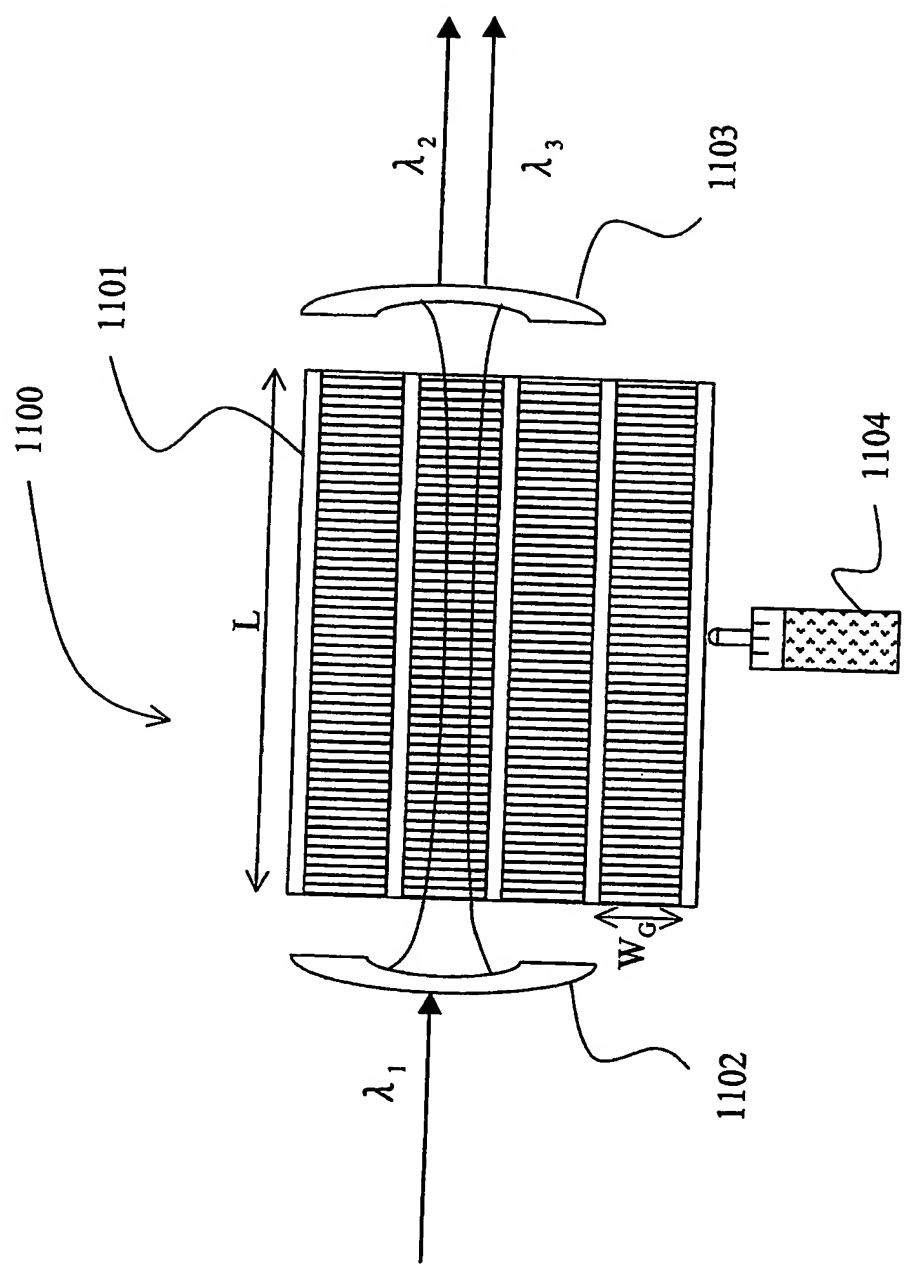
【図 9】



【図 10】



【図 11】



従来技術

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 損傷伝播のないマルチグレーティングを有する波長変換素子およびそれを用いた光発生装置を提供すること。

【解決手段】 本発明による波長変換素子は、ホルダーと、ホルダーに配置された複数の角柱状強誘電体単結晶とを含む。複数の角柱状強誘電体単結晶は、少なくとも5つの面を有しており、複数の角柱状強誘電体単結晶それぞれの長手方向に対して垂直な面の縦横比は、実質的に1である。複数の角柱状強誘電体単結晶のそれぞれは、分極方向に対して垂直な方向に、所定の周期を有する分極反転構造を有している。複数の角柱状強誘電体単結晶は、分極方向に対して垂直な方向が同一となるように配置されている。

【選択図】 図3



特願 2003-391242

ページ： 1/E

出願人履歴情報

識別番号

[301023238]

1. 変更年月日  
[変更理由]  
住所  
氏名

2001年 4月 2日  
新規登録  
茨城県つくば市千現一丁目2番1号  
独立行政法人物質・材料研究機構

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP04/017653

International filing date: 19 November 2004 (19.11.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2003-391242  
Filing date: 20 November 2003 (20.11.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 17 February 2005 (17.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse